第46卷 第5期
2023年5月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 5
May 2023

# 基于混合损失超越曲线的省域气象灾害农业风险评估

刘耀龙[1]， 何冰晶[1]， 张华明[2]， 王 军[3]

（1. 太原理工大学经济管理学院，山西 晋中 030600；2. 山西省气象灾害防御技术中心，山西 太原 030002；
3. 华东师范大学地理科学学院，上海 200241）

**摘 要**：近年来，全球减轻灾害风险战略对广布型灾害风险的认知以及地方尺度上持续优先管控密集型灾害风险的效能引发了学术界和应急管理利益相关者对灾害风险管理理论与实践的争议。通过分析山西省1983—2019年历史气象灾害特征，提出运用混合损失超越曲线（HLEC）估算中国省域气象灾害年均农业经济损失（AAL）和典型重现期情景下的最大农业经济损失（OEP），全面准确地反映气象灾害农业风险水平。结果表明：（1）山西省气象灾害AAL达$22.22\times10^8$元，单次灾害OEP超过$0.15\times10^8$元，即全省全年和受损县区单次"灾害防治及应急管理支出"储备分别不低于$22.22\times10^8$元和$0.15\times10^8$元。（2）HLEC在省域尺度上的灾害风险评估有效，在地级市和县区尺度上的适用性和有效率接近60%。（3）山西省97%以上的历史气象灾害为广布型灾害，造成超过95%的农业受灾面积和农业经济损失，相应的AAL和OEP占比均超过85%，广布型灾害风险是省域减轻灾害风险和灾害风险管理的重点。籍此，本研究初步证实了地方或基层减轻广布型灾害风险的必要性（为什么管），讨论了传统应急管控广布型灾害风险不足的原因（不敢管、管不了和不想管），提出了及时应对广布型灾害风险和避免其累积带来社会经济影响的意义（如永久脱贫、高质量城市化、可持续发展），拟为各级政府和应急管理部门制定减轻灾害风险和灾害风险管理策略提供正确方向，为提高城市、社区和家庭的灾害韧性提供决策参考。

**关 键 词**：混合损失超越曲线；气象灾害；广布型灾害风险；农业经济损失；山西省

**文章编号**：1000－6060(2023)05－0711－08(0711～0718)

气象灾害是自然灾害中最为频繁而又严重的灾害类型。中国是世界上自然灾害种类最多，造成损失十分严重的少数国家之一。2020年全年各种自然灾害共造成$1.38\times10^8$人次受灾，$10\times10^4$间房屋倒塌，$176\times10^4$间房屋损坏，直接经济损失$3702\times10^8$元[1]。据《2020年中国气候公报》统计，气象灾害造成农作物受灾$1995.77\times10^4$ $hm^2$，死亡失踪552人，直接经济损失$3681\times10^8$元，占全部灾害影响的比例分别为100%、93.40%和99.45%。气象灾害广泛分布且反复发生，灾害影响（尤其是农业损失）较大且不断累积，辨识、评估和管理气象灾害风险是减轻灾害风险战略实施的主要内容，也是推动《2015—2030年仙台减灾框架》4个优先事项、实现联合国减轻灾害风险办公室"使城市更具韧性"目标的关键要素[2]。

灾害风险评估主要基于概率分布模型的损失超越曲线（LEC）[3]，通过计算自然灾害的年期望损失，定量评估灾害风险大小和等级。Dong将LEC分为最大损失超越概率曲线和累积损失超越概率曲线[4]，前者用于评估每年发生最大规模单一事件的极大损失，后者与LEC意义相同。N-AL将LEC分为回顾性损失超越曲线（RLEC）和前瞻性损失超越曲线（PLEC）[5]，其中，RLEC是基于历史灾情数据，对广布型灾害造成的损失进行估计；PLEC运用概率模型，对密集型灾害造成的损失进行估算。Velásquez等[6]进一步提出混合损失超越曲线

**收稿日期**：2022-09-07； **修订日期**：2022-10-10
**基金项目**：国家自然科学基金青年项目(71901159)；国家社会科学基金重大项目(18ZDA105)；山西省自然灾害综合风险普查成果应用研究课题(SXJZCGYY202207)资助
**作者简介**：刘耀龙(1984-)，男，博士，副教授，主要从事风险管理与优化决策研究. E-mail: liuyaolong@tyut.edu.cn

(HLEC),囊括RLEC涉及到的小、中等损失风险和PLEC估算的极端损失风险,并在南美洲11个国家进行了实证检验。实证研究方面,Zhang等[7]选用农业灾害指数(受灾面积/播种面积),估算不同地区的灾害重现期,以评估吉林省农业气象灾害风险。刘布春等[8]运用灾情-产量评估模型,定量计算东北三省气象灾害对区域粮食产量造成的损失,以防控农业气象灾害风险。Huang等[9]使用农业气象灾害指数,测算极端降水、干旱和冻害对江苏省油菜产量的影响,以降低农业气象灾害敏感性。徐玉霞等[10]提出农业洪水灾害脆弱性评价指标体系,通过加权模型定量评估宝鸡市农业洪水灾害脆弱性水平与时空分布。王钧等[11]通过农业生产系统模拟模型,讨论陇中黄土高原区旱地春小麦产量形成对不同干旱胁迫的响应机制。

受限于学科交叉、风险归因、前沿追踪等因素,如数学概率分布模型主要用于水文频率计算、致灾因子强度较承灾体韧性更具数理统计性、《2015—2030年仙台减灾框架》执行以来灾害风险科学的研究转向[12],现有研究尚未运用HLEC评估中国省域气象灾害农业风险,且缺乏专论灾害风险情景或类型的实证案例。为了阐明广布型灾害风险和密集型灾害风险2种灾害风险情景的迥异以及地方尺度减轻灾害风险关注的优先程度,恰当、完整地评估中国省域气象灾害的农业风险,本文以山西省为例,运用HLEC估算了每年因气象灾害造成的农业经济损失期望值,检验了2种灾害风险在中国省域尺度上的差异,拟为区域政府和应急管理部门制定和实施防灾减灾政策提供决策支持,为当地农户减轻和转移气象灾害农业风险提供对策建议,同时为丰富和完善灾害风险科学研究体系[13]、创新和推进中国乃至全球减轻灾害风险实践提供独特视角。

## 1 研究区概况

为了全面、准确地辨识和评估中国省域尺度自然灾害风险的情景与水平,本研究选择了历史灾情记录完备、资源型经济转型、城市化发展水平偏中等的山西省作为研究区域。山西省地处黄河流域中部,地势东北高、西南低,山地、丘陵面积占全省总面积的80%。山西省属温带大陆性季风气候,平均气温4.2~14.2 ℃,年降水量358~621 mm。山西全省总面积$15.67\times10^4$ km$^2$,2021年底常住人口为$3480.48\times10^4$人,全年实现地区生产总值$22590.16\times10^8$元,三次产业的占比分别为5.7%、49.6%和44.7%,全省居民人均可支配收入27426元,居民人均消费支出17191元。

1983—2019年山西省共计发生气象灾害5253次,其中冰雹(占比30.34%)、暴雨洪涝(占比27.76%)和干旱(占比14.32%)是发生频率较高的地方性灾害类型。各类气象灾害共造成人员伤亡$1.08\times10^4$人,房屋损坏或毁坏$88.45\times10^4$间,直接经济损失$798.13\times10^8$元,农作物受灾$2065.95\times10^4$ hm$^2$,农业经济损失$391.31\times10^8$元(表1)。按照联合国减轻灾害风险办公室提出的广布型灾害风险和密集型灾害风险2种灾害风险情景[14],山西省超过97%的气象灾害为"死亡人数<30人且损坏房屋<600间"的广布型灾害,造成了71%人员伤亡、49%房屋倒塌、91%直接经济损失和96%的农业受灾和经济损失(表1)。为此,本研究以农业经济损失指标表征气象灾害的农业风险,运用HLEC定量估算广布型灾害风险和密集型灾害风险的综合风险,为山西省减轻灾害损失、提高城市韧性提供决策支持。

表1 山西省2种灾害风险情景的影响对比

Tab. 1 Comparison of impacts of the two disaster risk scenarios in Shanxi Province

| 灾害类型 | 频数/次 | 死亡人数/人 | 受伤人数/人 | 倒塌房屋/$10^4$间 | 损坏房屋/$10^4$间 | 直接经济损失/$10^8$元 | 农业受灾面积/$10^4$ hm$^2$ | 农业经济损失/$10^8$元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 广布型灾害 | 5097.00 | 917.00 | 6677.00 | 21.56 | 7.98 | 725.65 | 1987.97 | 374.68 |
| | (97.03%) | (71.41%) | (69.63%) | (49.36%) | (9.03%) | (90.92%) | (96.23%) | (95.75%) |
| 密集型灾害 | 156.00 | 367.00 | 2912.00 | 22.12 | 80.47 | 72.47 | 77.98 | 19.63 |
| | (2.97%) | (28.59%) | (30.37%) | (50.64%) | (90.97%) | (9.08%) | (3.87%) | (4.25%) |
| 总计 | 5253.00 | 1284.00 | 9589.00 | 43.68 | 88.45 | 798.12 | 2065.95 | 391.31 |
| | (100.00%) | (100.00%) | (100.00%) | (100.00%) | (100.00%) | (100.00%) | (100.00%) | (100.00%) |

注:括号中数值表示占比。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与处理

1983—2019年山西省历史灾情记录来源于山西省气象局及地方气象部门的统计资料，涉及的灾害类型有：冰雹、暴雨洪涝、干旱、大风、连阴雨、低温冷害、雪灾、森林草原火灾、雷电等，灾情记录包括人员伤亡、房屋损坏、经济损失和农业影响（农业受灾面积、农业经济损失）。本研究选择"农业经济损失"指标表征气象灾害的农业风险，根据全国气象灾情收集上报技术规范（2019年），农业经济损失为本次灾害对农业生产造成的直接经济损失（不包括牧业、林业、渔业损失）。对原始数据进行勘误（查找并剔除重复记录），按年份、地区（省、地级市、县区）统计汇总灾害频数、农业年累积经济损失和单次灾害的农业经济损失，用于HLEC估算。考虑到一个地区的作物类型、灾害抗性、农业生产和经济社会发展水平在有限的时间跨度内相对稳定，定损方法、物价水平、货币价值波动等影响灾情量化和评估的准确性，地方尺度长期积累和完整记录的农业经济损失数据评估灾害风险是可信的，相较过程估算损失而产生的误差属于可接受程度。

### 2.2 研究方法

对历史37 a"农业经济损失"系列进行曲线拟合编绘LEC，LEC是特定重现期（年超越概率的倒数）情景下的农业经济损失估算值，而PLEC主要反映了高重现期（低年超越概率）农业经济损失的风险——密集型灾害风险，RLEC主要反映了低重现期（高年超越概率）农业经济损失的风险——广布型灾害风险，HLEC反映了密集型灾害风险和广布型灾害风险情景下的混合风险。本研究通过DPS（Data processing system）数据处理系统"水文气象频率分析→Pearson III（适线法）"拟合PLEC，其函数表达式为：

$$f(x)=\frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(x)}(x-\alpha_0)^{\alpha-1}\mathrm{e}^{-\beta(x-\alpha_0)},\quad x=\frac{1}{N} \tag{1}$$

式中：$f(x)$为农业经济损失估算值（元）；$x$为年超越概率（%）；$N$为重现期（a）；$\alpha$、$\beta$和$\alpha_0$是函数的3个参数，其公式如下：

$$\alpha=\frac{4}{C_s^2},\quad \beta=\frac{2}{\bar{x}C_vC_s},\quad \alpha_0=\bar{x}\left(1-\frac{2C_v}{C_s}\right) \tag{2}$$

式中：$\bar{x}$为农业经济损失历史序列平均值；$C_v$为离差系数；$C_s$为偏差系数。

通过SPSS软件"回归-曲线估计"拟合最佳函数（对数函数）拟合RLEC和HLEC，其中，对数函数的表达式为：

$$f(x)=a_1\times\ln(x)+b_1 \tag{3}$$

式中：$f(x)$为农业经济损失估算值（元）；$x$为年超越概率（%）；$a_1$和$b_1$为函数的2个参数。

对于PLEC、RLEC和HLEC，均需计算年均农业经济损失（AAL）以表征气象灾害的农业风险值，即为应对气象灾害农业风险而进行的最大财政储备。AAL是所有合理损失值的加权平均[6]，反映了未来一段时间内的期望年平均损失值，其函数表达式为：

$$\mathrm{AAL}=\int xf(x)\mathrm{d}x \tag{4}$$

式中：$x$为年超越概率（%）；$f(x)$为对应年超越概率条件下的农业经济损失（元），为PLEC、RLEC、HLEC任一函数。

对于一年内多次灾害的农业累积经济损失（AEP），分别估算RLEC、PLEC和HLEC的AAL，用于评估2种风险情景的年均AEP；对于单次灾害的最大农业经济损失（OEP），仅计算PLEC相应年超越概率的损失估计值，用于评估不同重现期情景的OEP。具体计算过程为：（1）输入37 a"农业累积经济损失"历史系列，运用DPS"水文气象频率分析——Pearson III"拟合PLEC函数；计算密集型灾害风险情景下的AAL，并反推演算20 a的前瞻序列（即年超越概率为10.00%、5.00%、3.33%、2.50%、2.00%、1.25%、1.00%、0.67%、0.50%、0.33%、0.25%、0.20%、0.14%、0.11%、0.10%、0.07%、0.05%、0.03%、0.02%和0.01%）；（2）输入37 a"农业累积经济损失"历史系列，运用SPSS拟合RLEC对数函数，计算广布型灾害风险情景下的AAL；（3）输入"农业累积经济损失"37 a历史系列和20 a的前瞻序列，运用SPSS拟合HLEC对数函数，计算其AAL；（4）将系列换为"单次农业最大经济损失"，重复（1）步骤，计算密集型灾害风险情景下的AAL。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同空间尺度HLEC评估结果比较

基于RLEC、PLEC和HLEC估算的山西省不同空间尺度气象灾害AAL如表2所示，山西省和晋城

市3类曲线的拟合结果如图1所示。RLEC和PLEC计算的山西省气象灾害农业AAL分别为22.68×10^8和10.57×10^8元，HLEC计算的结果为22.22×10^8元，介于二者之间，即HLEC综合考虑了历史经验拟合和概率模型预测的广布型灾害风险和密集型灾害风险2种灾害风险，结果更加合理和准确。对比Velásquez等[15]在国家尺度的计算结果，玻利维亚、哥斯达黎加、厄瓜多尔、萨尔瓦多、危地马拉、洪都拉斯、尼泊尔、秘鲁、委内瑞拉的PLEC的AAL均大于RLEC，仅墨西哥PLEC的AAL小于RLEC；本文计算出山西省PLEC的AAL小于RLEC，再次证明国家尺度的灾情记录侧重于密集型灾害，省域尺度的灾情记录涵盖了广布型灾害，HLEC混合了两部分灾害风险，即RLEC的广布型灾害风险和PLEC的密集型灾害风险（图1），完整地揭示了省域尺度的灾害风险全貌。

为进一步讨论HLEC在市县尺度的适用性，本研究计算了11个地级市和农业经济损失最严重的10个县区3种LEC评估的AAL（表2）。研究表明：13个样本（山西省、太原市、运城市、晋城市、长治市、晋中市、原平市、盐湖区、汾阳市、阳高县、隰县、大同县、长子县）的AAL呈现出HLEC介于PLEC和RLEC之间，5个样本（忻州市、临汾市、吕梁市、保德县、孝义市）的AAL呈现出HLEC高于PLEC和RLEC，4个样本（大同市、阳泉市、朔州市、襄汾县）的AAL呈现出HLEC低于PLEC和RLEC。HLEC综合了PLEC和RLEC，其AAL介于二者之间说明评估精度有所提升，高于或低于说明其适用性受限，本文的总有效率为59.09%，且空间尺度越小、有效率越高（地级市尺度有效率为45.45%，县区尺度有效率为70.00%）。参考Velásquez等[6]计算结果，美洲

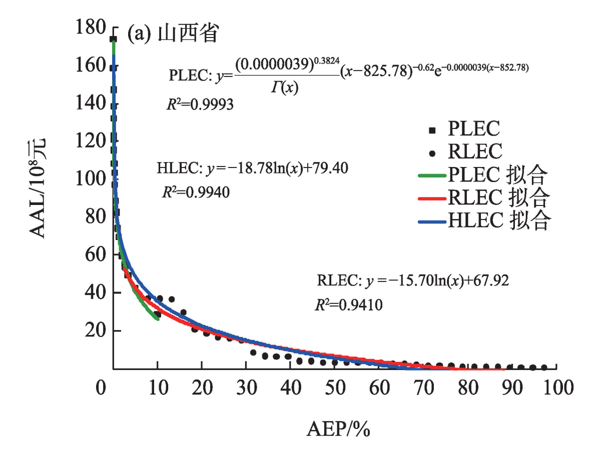
表2 不同空间尺度AAL计算结果

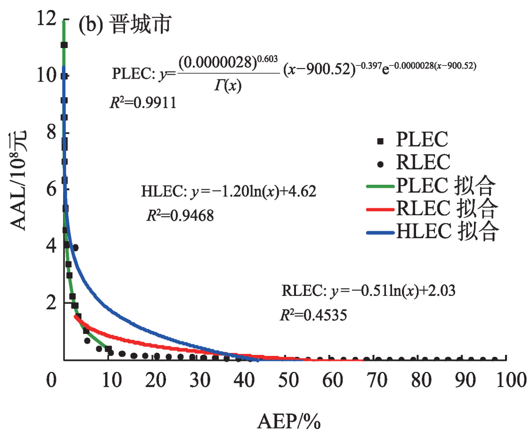
Tab. 2 AAL calculation results at different spatial scales

/10^8元

| 空间尺度 | | RLEC | PLEC | HLEC |
|---|---|---|---|---|
| 省域 | 山西省 | 22.68 | 10.57 | 22.22 |
| 地级市 | 太原市 | 0.45 | 0.21 | 0.25 |
| | 大同市 | 2.85 | 1.38 | 1.25 |
| | 运城市 | 4.00 | 1.94 | 3.90 |
| | 晋城市 | 0.39 | 0.18 | 0.70 |
| | 阳泉市 | 0.37 | 0.39 | 0.37 |
| | 长治市 | 1.47 | 0.93 | 1.35 |
| | 朔州市 | 0.42 | 0.33 | 0.25 |
| | 晋中市 | 1.25 | 1.05 | 1.10 |
| | 忻州市 | 3.04 | 1.64 | 3.19 |
| | 临汾市 | 2.43 | 1.36 | 2.63 |
| | 吕梁市 | 3.05 | 1.38 | 3.06 |
| 县(区) | 原平市 | 1.39 | 0.61 | 1.33 |
| | 盐湖区 | 0.35 | 0.88 | 0.42 |
| | 汾阳市 | 0.42 | 0.52 | 0.47 |
| | 阳高县 | 0.34 | 0.86 | 0.39 |
| | 隰县 | 0.16 | 0.11 | 0.43 |
| | 大同县 | 0.15 | 1.01 | 0.23 |
| | 长子县 | 0.15 | 0.90 | 0.19 |
| | 襄汾县 | 0.29 | 0.44 | 0.28 |
| | 保德县 | 0.38 | 0.39 | 0.61 |
| | 孝义市 | 0.28 | 0.28 | 0.29 |

注：AAL为年均农业经济损失；RLEC为回顾性损失超越曲线；PLEC为前瞻性损失超越曲线；HLEC为混合损失超越曲线。下同。




注：ALL为年均农业经济损失；AEP为农业累积经济损失；RLEC为回顾性损失超越曲线；PLEC为前瞻性损失超越曲线；HLEC为混合损失超越曲线。

图1 3种损失年超越概率曲线比较

Fig. 1 Comparison of the three loss exceedance curves

11个国家HLEC的有效率为45.45%，可认为HLEC在省域、地级市和县区等次国家尺度区域具有较好的适用性。

### 3.2　典型重现期情景下的气象灾害农业风险

基于RLEC、PLEC和HLEC估算的典型重现期（年超越概率的倒数）情景下的山西省气象灾害AEP和单次灾害OEP如表3所示。山西省5 a一遇（年超越概率为20%）气象灾害的年极大农业经济损失为23.14×$10^8$元，50 a一遇（年超越概率为2%）气象灾害的年极大农业经济损失为66.38×$10^8$元，即山西省需要储备23.14×$10^8$元或66.38×$10^8$元资金以应对5 a一遇或50 a一遇的气象灾害农业风险，平摊到未来10 a年均防灾储备为2.3×$10^8$元或6.6×$10^8$元。AAL计算的山西省气象灾害年均损失22.22×$10^8$元，相当于应对5 a一遇的气象灾害农业风险。

对比3种LEC计算的AEP值，RLEC适于估算较低重现期情景（小于50 a一遇）的AEP，PLEC适用于估计较高重现期情景（50~200 a一遇）的AEP，HLEC适用于估计极高重现期情景（500 a、1000 a一遇）的AEP。山西省5 a一遇（年超越概率为20%）气象灾害造成的单次农业经济极大损失值为2.61×$10^8$元，100 a一遇（年超越概率为1%）气象灾害造成的单次农业经济极大损失值为9.25×$10^8$元，分别占总损失的12.49%和13.62%。结合表2和表3结果，山西省气象灾害AAL介于0.85×$10^8$~22.22×$10^8$元（相当于1~7 a一遇），过去37 a的AAL为10.57×$10^8$元（相当于3.4 a一遇）。此外，RLEC与HLEC的占比表明：在年超越概率<20%（重现期超过5 a一遇）情景下，广布型灾害风险占气象灾害农业风险比例超过80%，且随年超越概率增大、广布型灾害风险占比逐渐增大，如年超越概率为0.1%（重现期为1000 a一遇）情景下广布型灾害风险占比为84.86%，年超越概率为20%（重现期为5 a一遇）情景下广布型灾害风险占比为90.28%。可见，中国省域尺度减轻灾害风险的重点宜为广布型灾害风险。

## 4　讨 论

本研究证实了HLEC在中国省域气象灾害农业风险评估中的科学性和适用性。主要证据和观点为：(1) 山西省域、45%的地级市和超过60%的县区运用HLEC测算的气象灾害AAL介于RLEC和PLEC计算结果之间，即HLEC囊括了各种重现期情景下的极大损失和发生概率，改善原有模型只侧重一类灾害情景的不足，使风险评估的结构与结果更加全面、合理和准确。(2) 现有研究未尝试HLEC评估省域气象灾害农业风险的主要顾虑在于：不同研究的时空尺度条件下，经济社会发展因素影响农业经济损失和农业系统韧性的稳定性，因此带来风险评估结果的不可靠性。本研究的实证区山西省，在1983—2019年的经济社会韧性确有较大提升，农业系统（如农作物成本、农民收入和资产、农业机械设备）面对气象灾害的暴露性未有所增大，作物繁殖

表3　不同重现期、年超越概率的山西省农业经济损失估算结果

Tab. 3　Estimation results of agricultural economic loss with different return periods and exceedance probabilities in Shanxi Province

| 重现期/a | 年超越概率/% | 农业经济损失/$10^8$元 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | AEP | | | OEP |
| | | RLEC | PLEC | HLEC | PLEC |
| 1 | 100.0 | – | 0.85 | – | 0.15 |
| 2 | 50.0 | 6.50 | 4.20 | 5.93 | 0.92 |
| 5 | 20.0 | 20.89 | 16.46 | 23.14 | 2.61 |
| 10 | 10.0 | 31.77 | 28.52 | 36.16 | 4.06 |
| 20 | 5.0 | 42.65 | 41.86 | 49.17 | 5.58 |
| 50 | 2.0 | 57.04 | 60.69 | 66.38 | 7.65 |
| 100 | 1.0 | 67.92 | 75.54 | 79.40 | 9.25 |
| 200 | 0.5 | 78.80 | 90.76 | 92.42 | 10.87 |
| 500 | 0.2 | 93.19 | 111.32 | 109.63 | 13.05 |
| 1000 | 0.1 | 104.07 | 127.12 | 122.64 | 14.70 |

注：“–”表示无数值；AEP为农业累积经济损失；OEP为最大农业经济损失。

更新、农民可支配收入提升以及农业机械化发展一定程度上降低了农业系统的脆弱性,其他管控风险策略和工具的有效性(如农业保险投保意愿低)有待证实。因此,HLEC测算气象灾害农业风险带来的结果偶然性和波动性勿需考量。(3) 历史灾情序列、密集型灾害频次、LEC拟合方法均会影响AAL的拟合精度,建议进一步讨论长时间跨度(超过50 a)、高精度拟合方法的HLEC-AAL有效性,亦可根据PLEC和RLEC的差异,提出不同国家或地区灾害风险的情景类型,如玻利维亚(国土面积为109.86×10$^4$ km$^2$)、哥斯达黎加(国土面积为5.11×10$^4$ km$^2$)为密集型灾害风险区域,墨西哥(国土面积为196.44×10$^4$ km$^2$)、中国山西省(省域面积为15.67×10$^4$ km$^2$)为广布型灾害风险区域。相对于同级地域,阳泉市(市域面积为0.46×10$^4$ km$^2$)、大同县(县域面积为0.15×10$^4$ km$^2$)为密集型灾害风险区域,可视为山西省域的“灾害风险热点”[16]。

为有效管控省域和地方尺度的广布型灾害风险,本研究建议:(1) 应急管理体制机制改革和地方政府简政放权助力地方灾害风险管理的减轻灾害风险绩效和社会经济效应。传统的自上而下、逐级应急管理模式一定程度上忽视了风险暴露地区居民的需求和意愿,而基层组织财政自主权的不足影响了社区风险互助能力和广布型灾害风险应对的即时性,其“不敢管+没能力管”的结果加剧了广布型灾害风险的累积效应,造成脱贫返贫、健康恶化、福利受损,甚至诱发密集型灾害风险,制约区域经济社会的可持续发展[12]。(2) 自由市场经济资本的运作方式和不断加速的经济全球化,很大程度上造成了地方政府“治理受限于融资”的惯性思维[17],轻视了为地方民众服务的基本宗旨,间接形成了“不愿意管”的理念。在明确“为什么管”的基础上,国家宜重视“自下而上”管理机制和地方政府简政放权实效,逐渐从根本上解决“不敢管”“管不了”和“不想管”的问题,以此增强基层组织和社区居民面对广布型灾害的抵抗力、恢复力和适应力,为城市和社区韧性建设提供基础。(3) 减轻灾害风险的政策和策略方面,国家层面宜实施诸如关键基础设施改造、暴露人口/资产转移、生态环境系统修复、应急避难场所建设等工程性、结构式、纠正性的灾害风险治理措施,地方层面宜适用诸如土地利用规划、应急供水管理、建筑标准更新、灾害保险与应急信贷、信息共享和风险沟通、弱势群体社会安全网构建等非工程性、非结构式、补偿性和前瞻性灾害风险管理策略[18]。

## 5 结 论

为克服损失超越概率曲线拟合密集型灾害情景而低估广布型灾害情景带来的风险偏差,本研究提出使用HLEC测绘中国省域气象灾害农业风险全景的创新思维和实证研究。主要研究结论如下:

(1) HLEC恰当且完整地反映了局域气象灾害风险的全景,为科学、准确评估和应对气象灾害农业风险提供决策依据。本研究测算的山西省气象灾害AAL、典型重现期情景下年农业经济损失和单次气象农业经济损失值对制定“应对气象灾害农业风险的财政储备方案”具有重要参考价值。例如,每年至少准备0.85×10$^8$元以应对近1 a一遇气象灾害的农业经济损失;平均每年准备22.22×10$^8$元以应对各种年超越概率情景下的气象灾害农业风险;未来10 a内每年准备6.6×10$^8$元,以应对50 a一遇(年超越概率为2%)气象灾害的农业经济损失。山西省2020年灾害防治及应急管理支出为44.77×10$^8$元(占一般公共预算支出的0.93%),约为应对气象灾害农业风险资金的2倍。建议进一步估算地质灾害、生物灾害的AAL,确定全省灾害防治及应急管理支出的合理储备额,并调整不同防灾减灾领域或部门的资金使用结构,制定和实施科学、有效的减轻灾害风险政策与措施。

(2) 中国省域气象灾害农业风险的真实情景为:死亡人数<30人且损坏房屋小于600间的广布型灾害风险绝对占比巨大。相比于全球、国家尺度(全国、省)的灾害风险管理关注密集型灾害风险的热点地区,地方尺度(地级市、县区、乡镇、社区/村)的灾害风险管理宜优先应对和管控广布型灾害风险。山西省超过97%的气象灾害为“死亡人数<30人且损坏房屋<600间”的广布型灾害,造成了70.52%的人员伤亡、49.36%的房屋倒塌、90.92%的直接经济损失、96.23%的农业受灾面积和95.75%的农业经济损失。广布型气象灾害AAL达21.89×10$^8$元,占比为96.52%,不同年超越概率条件下AEP的占比均超过80%,正所谓“相对于每一次特大灾难,都有数以千计的规模较小事件发生”,广布型灾害风险是需要真正关注和减轻的灾害风险类型。

## 参考文献(References)


[1] 中华人民共和国应急管理部. 应急管理部发布2020年全国自然灾害基本情况[EB/OL]. [2021-01-12]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/12/content_5579258.htm. [Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China. Ministry of Emergency Management has released the basic information on natural disasters in China for 2020[EB/OL]. [2021-01-12]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/12/content_5579258.htm. ]

[2] 王军, 刘耀龙. 城市韧性评估: 理论、方法和案例[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2022: 85-88. [Wang Jun, Liu Yaolong. Urban resilience assessment: Theory, methods and cases[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2022: 85-88. ]

[3] Henlen C, Julian J B. Modelling seismic hazard in earthquake loss models with spatially distributed exposure[J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2006, 4: 249-273.

[4] Dong W M. Building a more profitable portfolio: Modern portfolio theory with application to catastrophe insurance[M]. London: Reactions Publishing Group, 2002: 101-110.

[5] N-AL (Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina). Probabilistic modelling of disaster risk at global level: Development of a methodology and implementation of case studies, Phase 1A: Colombia, Mexico, Nepal[R]. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2011.

[6] Velásquez C A, Cardona O D, Mora M G, et al. Hybrid loss exceedance curve for disaster risk assessment[J]. Natural Hazards, 2014, 72(2): 455-479.

[7] Zhang J W, Wang J G, Chen S B, et al. Multi-hazard meteorological disaster risk assessment for agriculture based on historical disaster data in Jilin Province, China[J]. Sustainability, 2022, 14(12): 7482, doi: 10.3390/su14127482.

[8] 刘布春, 刘园, 郑飞翔, 等. 区域粮食产量因灾损失评估之东北三省灾情——产量模型再检验[J]. 中国农业气象, 2022, 43(6): 487-498. [Liu Buchun, Liu Yuan, Zheng Feixiang, et al. Assessment regional grain yield loss based on re-examination of disaster-yield model in three northeastern provinces[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2022, 43(6): 487-498. ]

[9] Huang J, Zhou L M, Zhang F M, et al. Quantifying the effect of temporal variability of agro-meteorological disasters on winter oilseed rape yield: A case study in Jiangsu Province, southeast China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2019, 191(5): 276, doi: 10.1007/s10661-019-7406-3.

[10] 徐玉霞, 许小明, 方锋, 等. 县域尺度下的宝鸡市农业洪水灾害脆弱性评价及区划[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 652-660. [Xu Yuxia, Xu Xiaoming, Fang Feng, et al. Assessment and zoning of vulnerability of agricultural flood diaster in Baoji City based on county scale[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(3): 652-660. ]

[11] 王钧, 李广, 聂志刚, 等. 陇中黄土高原区旱地春小麦产量对干旱胁迫响应的模拟研究[J]. 干旱区地理, 2021, 44(2): 494-506. [Wang Jun, Li Guang, Nie Zhigang, et al. Simulation study of response of spring wheat yield to drought stress in the Loess Plateau of central Gansu[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(2): 494-506. ]

[12] 刘耀龙. 广布型风险: 减轻灾害风险的新视角[M]. 北京: 气象出版社, 2019. [Liu Yaolong. Extensive risk: A new perspective for disaster risk reduction[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2019. ]

[13] 史培军. 灾害风险科学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2018. [Shi Peijun. Disaster risk science[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2018. ]

[14] UNDRR. Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction (A/71/644)[R]. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2016.

[15] Velásquez C A, Cardona O D, Mora M G, et al. Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Colombia: Un enfoque retrospectivo y prospectivo[C]//Alex H B. Séptimo Congreso Nacional de Ingeniería sísmica de la Universidad Andina. Colombia: Colombia Todos los Derechos Reservados, 2015.

[16] Maxx D, Robert S, Chen U D, et al. Natural disaster hotspots a global risk analysis[R]. Washington D C: The World Bank, Hazard Management Unit, 2005.

[17] Gordy M. Disaster risk reduction and the global system: Ruminations on a way forward[M]. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2016: 5-46.

[18] 周利敏. 从结构式减灾到非结构式减灾: 国际减灾政策的新动向[J]. 中国行政管理, 2013(12): 94-100. [Zhou Limin. From structural mitigation to non-structural mitigation: An important transition of international mitigation strategy and its self-examination in China[J]. Chinese Public Administration, 2013(12): 94-100. ]

# Agricultural risk assessment of meteorological disasters at provincial level based on hybrid loss exceedance curve

LIU Yaolong[1], HE Bingjing[1], ZHANG Huaming[2], WANG Jun[3]

(1. College of Economics and Management, Taiyuan University of Technology, Jinzhong 030600, Shanxi, China; 2. Meteorological Disaster Prevention Technology Center of Shanxi Province, Taiyuan 030002, Shanxi, China; 3. College of Geography Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

**Abstract:** In recent years, the recognition of the global disaster risk reduction (DRR) strategy on high-frequency and low loss extensive disaster risk and the query on the effectiveness of continuously giving priority to the management and control of low-frequency and high loss intensive disaster risk at a local scale have caused disputes on the theory and practice of disaster risk management (DRM) among academic and emergency management stakeholders. Therefore, this study conducted an empirical study on the agricultural risk assessment of meteorological disasters based on the hybrid loss exceedance curve (HLEC) in Shanxi Province, China. This paper identifies the characteristics of extensive and intensive meteorological disasters in Shanxi Province, demonstrating the comprehensiveness and accuracy of the HLEC replacing the retrospective loss exceedance curve and the prospective loss exceedance curve in measuring average annual agricultural economic loss (AAL). The following results are obtained: (1) The AAL of meteorological disasters in Shanxi Province is 2.22 billion Yuan, and the occurrence loss exceedance probability (OEP) for a single time exceeds 15 million Yuan, that is, the reserves of "meteorological disaster prevention and emergency management expenditure" for the whole year and the damaged counties and districts are not less than 2.22 billion Yuan and 15 million Yuan, respectively. (2) The HLEC model is effective in disaster risk assessment at the provincial level, and its applicability and efficiency at the prefecture-level city and county level are close to 60%. (3) More than 97% of the historical meteorological disasters in Shanxi Province are extensive disasters with high-frequency and low impact, resulting in more than 95% of the agricultural disaster areas and agricultural economic losses. The corresponding AAL and OEP account for more than 85%. The risk of extensive disasters is a real and cumulative risk in the province. Moreover, its consequences, such as poverty, welfare reduction, infectious diseases, and health deterioration, should attract the attention of DRR and DRM. Therefore, this study preliminarily confirmed the necessity of local or grassroots level to reduce the extensive risk (why to manage it), discussed the reasons for the lack of traditional emergency management and control of the extensive risk (dare not manage, cannot manage, and do not want to manage), and proposed the significance of timely response to the extensive risk and avoiding its cumulative socioeconomic impact (such as permanent poverty alleviation, high-quality urbanization, sustainable development). It is intended to provide the right direction for governments at all levels and emergency management departments to formulate DRR and DRM strategies and provide decision-making reference to improve the disaster resilience of cities, communities, and families.

**Key words:** hybrid loss exceedance curve (HLEC); meteorological disasters; extensive disaster risk; agricultural economic losses; Shanxi Province